

# ICP-OES 标准加入法准确测定海水中的硼

孙玲玲, 宋金明, 于颖, 孙萱, 温廷宇

(中国科学院海洋研究所 分析测试中心, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 硼作为海水中的重要组分, 其准确测定对海洋环境生物地球化学过程研究具有重要意义。海水中硼的常用测定方法具有前处理步骤繁琐、耗时长、样品易被污染、灵敏度低等缺点, 不适于大批量海水样品的准确测定。为剔除海水高盐基体效应及干扰, 本文运用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES), 将海水样品进行稀释, 采用标准加入法建立工作曲线, 对海水中硼含量进行准确测定。正交实验显示, ICP-OES 最佳工作条件为射频功率 1400 W, 雾化气流量 0.7 L/min, 观测高度 14 mm, 进样泵速 1.5 mL/min。标准加入法标准曲线相关系数大于 0.999, 相对标准偏差为 0.76%~1.27%, 加标回收率为 94.6%~101.8%, 方法检出限为 1.073  $\mu\text{g/L}$ 。实际的海水样品分析表明, 该方法可消除海水基体干扰, 减少测定误差, 并且前处理操作简单快速, 化学试剂用量少, 回收率高, 精密度好, 灵敏度高, 可用于海水及其它高盐样品中硼含量的准确测定。

**关键词:** 硼; 标准加入法; 海水; 电感耦合等离子体发射光谱法

中图分类号: O657.31 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)06-0055-06

DOI: 10.11759/hyxx20140705001

硼作为海水中的主要组分之一, 是海洋中浮游生物生长所必须的微量元素。硼在海水中的平均浓度约为 4.5  $\text{mg/L}$ <sup>[1]</sup>, 主要以硼酸  $\text{H}_3\text{BO}_3$  或  $\text{B}(\text{OH})_3$  的形式存在, 占总硼的 76.4%<sup>[2]</sup>。硼酸在海水中一级解离形成硼酸离子  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ , 与其它硼的羟基络合阴离子将直接影响海水中的碳酸系统的平衡关系和海水的总碱度<sup>[3]</sup>。大洋海水中的硼具有保守性质, 海水中的硼含量、B/Cl 比可用于研究大洋环流和水系混合<sup>[4-8]</sup>, 近岸河口地区海水中硼的测定对于精确测定海水碱度有重要意义<sup>[3]</sup>。随着现代工农业发展, 人类活动排入海水中的硼化合物增多, 其对环境的影响已引起人们的关注。因此, 建立一种能高效、快速、准确测定海水中硼含量的方法显得尤为重要, 亦对海洋环境化学、海洋生物化学的研究及海洋水质监测等方面具有重要作用。

海水中硼的传统测定方法主要包括容量滴定法、库仑滴定法、离子选择电极法、极谱法<sup>[9]</sup>和分光光度法<sup>[10-12]</sup>等, 其中分光光度法中的姜黄素法是应用最为普遍的一种, 已被列入美国《水和废水标准检验法》第 13 版中<sup>[13]</sup>。上述这些传统的测定方法具有前处理步骤繁琐、测定时间长、灵敏度低、线性范围窄、检出限高、样品易被污染等缺点, 并且检测过程需要用到大量试剂, 这些试剂的排放会对环境造成一定程度的危害, 因此不适于大批量海水样品的

检测。电感耦合等离子体发射光谱法(inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy, ICP-OES)是近年来在发射光谱法基础上发展起来的一种新技术, 与传统方法相比, 具有测定快速、灵敏度高、线性范围宽、检出限低、干扰小、稳定性好及多元素同时测定等优点, 用于海水样品中硼的测定前处理简单, 不需大量化学试剂, 是一种环境友好型的快速、准确测定方法。使用 ICP-OES 检测海水中硼的技术中, 海水中大量的  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等离子的高盐基体不仅会堵塞雾化器和中心管, 还会产生基体抑制效应, 抑制损失被检测元素的信号响应。这些问题使该技术在实际样品分析中的应用受到一定程度的限制。针对上述问题, 本文采取两种措施, 一是将海水进行稀释, 减少基体含量; 二是采用标准加入法建工作曲线, 降低基体干扰, 消除样品差异性。标准加入法是一种有效校正基体干扰的分析方法。当难以配制与样品溶液相似的标准溶液, 或样品基体成分很高且变化不定时, 采用标准

收稿日期: 2016-09-22; 修回日期: 2016-12-19

基金项目: 中国科学院仪器设备功能开发创新项目(ghy201701)

[Foundation: Technology Innovation Project of the Instrument and Equipment of the CAS, No.ghy201701]

作者简介: 孙玲玲(1982-), 女, 山东平度人, 博士, 主要从事海洋环境分析研究, E-mail: sunll@qdio.ac.cn; 宋金明, 通信作者, 研究员, 博士生导师, E-mail: jmsong@qdio.ac.cn

加入法能够消除样品差异性,有效解决高盐基体干扰,提高分析方法的准确性。

本文运用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES),采用标准加入法建立工作曲线,对稀释海水样品中的硼元素进行了准确测定。通过优化 ICP-OES 法中射频功率、雾化气流量、观测高度、进样泵速等参数,消除基体抑制效应对测定结果的影响。对方法的加标回收率、精密度、检出限等进行了实验确定,为海水中硼含量的准确、快速测定提供合理的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料与试剂

本实验海水样品采自黄海近岸海域。

HNO<sub>3</sub> (GR, 国药集团化学试剂有限公司), 硼单元素标准溶液 (1000 mg/L, 国家有色金属及电子材料分析测试中心), 用于配制标准溶液与样品溶液的超纯水 (电阻率 18.2 MΩ·cm)。

### 1.2 仪器与设备

Optima 7300 DV 电感耦合等离子体原子发射光谱仪 (美国 PerkinElmer 公司), Milli-Q Direct8 超纯水系统 (美国 Millipore 公司)。

### 1.3 测定方法

#### 1.3.1 海水样品前处理

海水样品经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,储存在聚乙烯塑料瓶中,作为配制标准溶液的基体备用。海水样品含盐量约为 3.5%,稀释 10 倍后,含盐量约为 0.35%,稀释 10 倍后海水中铁、钠、钾、钙以及镁

等对硼的干扰可忽略不计,可以获得最佳测定结果,故采用稀释 10 倍法对海水中硼进行 ICP-OES 测定。

#### 1.3.2 标准加入法曲线的设计与绘制

标准加入法是分取数份体积相同的待测试样,其中一份待测试样中不加标准溶液,其余各份待测试样中分别加入不同已知量的被测元素标准溶液,按照绘制标准曲线的步骤依次进行测量。以加入的被测元素标准液浓度为横坐标,对应的光谱强度为纵坐标,绘制标准曲线,用外推法(延长标准曲线和横坐标相交的数值绝对值)可得待测样品溶液浓度。

本实验标准溶液的配制:

取 1.0 mL 溶度为 1000mg/L 的硼标准溶液于 100 mL 容量瓶中,用 Milli-Q 去离子水定容至刻度,摇匀,即得浓度为 10.0 mg/L 的硼标准溶液。

在 5 个 50 mL 容量瓶中分别加入 5.0 mL 过滤的海水样品,然后分别加入 0.0、1.0、2.0、3.0、4.0 mL 浓度为 10.0 mg/L 的硼标准溶液,用 1% 的硝酸溶液定容至刻度,摇匀,得到浓度分别为 0.0、0.2、0.4、0.6、0.8 mg/L 的硼系列标准溶液。按照优化好的仪器工作条件(表 1),分析元素的波长,用 ICP-OES 依次对系列标准溶液进行测定,以硼标准溶液的浓度 0.0、0.2、0.4、0.6、0.8 mg/L 为横坐标,对应的发射光谱强度为纵坐标作图,得到硼元素标准加入法标准曲线(图 1)。曲线与横坐标轴的交点即为海水样品中硼的浓度,该浓度为 0.423 mg/L,乘以稀释倍数 10 (5.0 mL 海水样品定容到 50 mL 容量瓶中),即得本实验中海水样品中硼的浓度为 4.228 mg/L。

表 1 ICP-OES 测定的工作参数

Tab. 1 Operating parameters of the ICP-OES

RF 功率 (kW)	等离子体气流量 (L/min)	辅助气流量 (L/min)	雾化气流量 (L/min)	观测高度 (mm)	溶液提升量 (mL/min)	积分时间 (s)	观测 方向
1.4	15.0	0.2	0.7	14	1.5	20	轴向

## 2 结果与讨论

### 2.1 分析谱线的选择

ICP-OES 对海水中硼测定干扰最严重的是铁的光谱干扰,海水样品中铁含量一般很低,约几个 μg/L,海水样品稀释 10 倍后,其中铁含量更低,故认为稀释海水样品中铁以及钠、钾、钙、镁等对硼的干扰可以忽略不计。ICP-OES 检测硼元素常用的谱线为

B249.77 nm 和 B249.68 nm, B249.77 nm 比 B249.68 nm 的信背比高,检出限低。综合分析光谱强度、干扰情况及稳定性,选择灵敏度高、背景等效浓度低的 B249.77 nm 谱线作为分析谱线。

### 2.2 仪器工作条件的优化

射频功率是维持等离子体稳定的能量,它通过负载线圈耦合到等离子体上。射频功率影响等离子体的温度和温度场分布,几乎所有的谱线强度都随

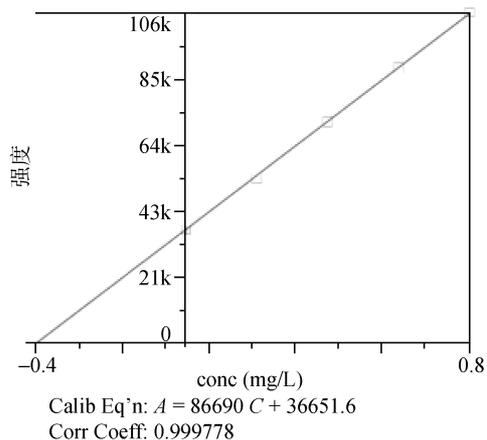


图1 标准加入法的校准曲线

Fig. 1 Calibration curve of the standard addition method

射频功率的增加而增加,但过大的射频功率会导致背景强度增加,信背比变差,检出限反而不能降低。

雾化气的一个重要作用是使液滴气化为气溶胶并均匀进入等离子体。雾化气流量的大小直接影响雾化气提升量、样品雾化效率、雾滴粒径及气溶胶在通道中的停留时间等。随雾化气流量增加,进入等离子体的样品量也增多,谱线强度增大,但增大到一定程度后,继续增大雾化气流量,会使进入等离子体的离子来不及激发而冲出,同时过大的雾化气流量也使等离子体温度降低,从而发射强度也降低,信噪比变差。

观测高度是观测窗中心到负载线圈顶部的垂直

表2 ICP-OES 工作条件正交试验因素与水平

Tab. 2 Factors and levels used in orthogonal array design

因素	A	B	C	D
	射频功率(W)	雾化气流量(L/min)	观测高度(mm)	进样泵速(mL/min)
水平	1200	0.6	14	1.2
	1300	0.7	15	1.5
	1400	0.8	16	1.8

对实验结果进一步进行正交试验方差分析,结果见表4。

从表4可以看出,本实验中B(雾化气流量)、D(进样泵速)和A(射频功率)对海水中硼元素的含量的测定影响显著( $P < 0.05$ ),而C(观测高度)对实验结果影响相对不明显,各因素对实验结果影响的主次顺序为  $B > D > A > C$ ,即雾化气流量 > 进样泵速 > 射频功率 > 观测高度,这与前面极差分析的结果一致。

### 2.3 与外标法的比较分析

在仪器最优工作条件下,用标准曲线外标法测

高度距离。分析元素经原子化、激发、辐射等过程,粒子在炬焰中的温度、电子密度等参数在中心通道内有不同的轴向分布,合适的观测高度可以提高信噪比,降低检出限。

合适的泵速是保证良好精密度的重要因素,泵速的大小主要取决于雾化器的种类和样品本身的基质。泵速太低会导致弹性泵管脉动进液,泵速太快会使等离子体火焰不稳定,甚至出现熄火,还会加速泵管的磨损。

本文选择对测定结果影响较大的射频功率、雾化气流量、观测高度和进样泵速这四方面进行优化。运用正交试验法,选取  $L_{16}(3^4)$  正交表,按四因素三水平安排实验(表2)。以硼元素含量作为衡量仪器工作条件的客观指标,优选最佳条件。每一条件下均做3次重复,计算平均值。

应用 SPSS 软件分析<sup>[14]</sup>所得的正交试验单因素统计分析结果见表3。极差  $R$  越大,说明该因素对实验指标的影响越显著,从表3中  $R$  可知,四因素对实验指标的影响程度依次为:  $B > D > A > C$ ,即雾化气流量 > 进样泵速 > 射频功率 > 观测高度。平均值  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  是各因素同一水平的响应值平均值,响应值平均值最高的组合就是最优组合,从表3可知,ICP-OES 工作最佳条件为  $A_3B_2C_1D_2$ ,即射频功率为 1400 W、雾化气流量为 0.7 L/min、观测高度为 14 mm、进样泵速为 1.5 mL/min。

定上述海水样品中硼含量,结果为 3.469 mg/L。从测定结果可以看出,用传统的外标法测定海水中硼含量,由于高盐基体的干扰,其结果低于标准加入法的测定结果 (4.228 mg/L),进一步说明标准加入法可以很好的校正海水样品中严重的基体干扰,能够提高分析方法的准确性。

### 2.4 黄海近岸海域海水中硼的测定

用上述确立的实验条件,对黄海近岸海域4个采样站的表、中、底层海水中硼进行测定,其结果见表5。由表5可知,硼含量在同一站位不同水层的变化

表 3 正交试验结果及极差分析( $n=3$ )  
Tab. 3 Results of orthogonal array design ( $n=3$ )

实验号	因素				B 含量(mg/L)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	3.256
2	1	2	2	2	5.019
3	1	3	3	3	4.901
4	2	1	2	3	3.370
5	2	2	3	1	3.771
6	2	3	1	2	4.695
7	3	1	3	2	4.252
8	3	2	1	3	5.206
9	3	3	2	1	4.360
$K_1$	13.176	10.878	13.157	11.387	
$K_2$	11.836	13.996	12.749	13.966	
$K_3$	13.818	13.956	12.924	13.477	
$k_1$	4.392	3.626	4.386	3.796	
$k_2$	3.945	4.665	4.250	4.655	
$k_3$	4.606	4.652	4.308	4.492	
R	0.661	1.039	0.136	0.859	

注:  $K$ . 水平总和, 为各因子相同水平所对应的试验结果之和;  
 $k$ . 水平均值, 为各因子相同水平对应下的平均数;  $R$ . 极差, 为“水平均值”中最大值与最小值之差。

表 4 正交试验结果方差分析表  
Tab. 4 Results of variance analysis of orthogonal array design

因素	离均差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
校正模型	4.066 <sup>a</sup>	6	0.678	48.522	0.020
截距	167.530	1	167.530	11996.029	0.000**
A	0.682	2	0.341	24.410	0.039*
B	2.133	2	1.067	76.369	0.013*
D	1.251	2	0.625	44.787	0.022*
C(误差)	0.028	2	0.014		
总误差	171.624	9			
校正总值	4.094	8			

注: <sup>a</sup> $R^2=0.993$ (调整后的  $R^2=0.973$ ); \* $P<0.05$ , 差异显著; \*\* $P<0.01$ , 差异极显著

表 5 黄海近岸海域海水中硼含量  
Tab. 5 Concentrations of boron in seawater samples from the Yellow Sea offshore area

站位	B(mg/L)		
	表层	中层	底层
A1	3.871	4.143	4.170
A2	4.211	4.321	4.175
A3	4.344	4.402	4.349
A4	3.670	4.136	4.067

不是很大, A1 站表、中、底层, 硼的含量分别是 3.871、4.143、4.170 mg/L, 其硼含量变化趋势为底层高, 表层低。A2 站表、中、底层, 硼的含量分别是 4.211、4.321、4.175 mg/L, 其硼含量变化趋势为中层高, 底层低。A3 站表、中、底层, 硼的含量分别是 4.344、4.402、4.349 mg/L, 其硼含量变化趋势为中层高, 表层低。A4 站表、中、底层, 硼的含量分别是 3.670、4.136、4.067 mg/L, 其硼含量变化趋势为中层高, 表层低。以上分析可知, 在 A1、A2、A3、A4 四个站位, 硼的垂直分布大致表现为中层的含量较高。四个站中, A3 站表、中、底层硼含量分别最高, 其次为 A2 站, A4 站表、中、底层硼含量分别最低。四个不同采样站中, 其表层硼含量变化相对较大, 最低为 3.670 mg/L, 最高为 4.344 mg/L, 相差 0.674 mg/L。

## 2.5 方法的准确度

### 2.5.1 方法检出限

根据国际纯粹和应用化学联合会(IUPAC)对检出限作出的规定<sup>[15]</sup>, 按 3 倍标准偏差与斜率的比值计算方法的检出限。本研究以 1%  $HNO_3$  为空白测定 11 次, 计算标准偏差, 3 倍标准偏差与斜率的比值即为方法检出限。本方法中硼的检出限为 1.073  $\mu g/L$ 。

### 2.5.2 精密度实验

为评价方法的精密度和准确度, 对同一份海水样品进行处理, 在仪器最优条件下进行 6 次测定, 计算 RSD 值。实验结果显示, 本实验中硼的相对标准偏差 RSD 为 0.76%~1.27%(表 6), 说明该方法具有较好的精密度。

### 2.5.3 加标回收实验

回收率可以检验分析方法的准确性<sup>[16]</sup>。向稀释

10 倍的海水样品中分别加入 0.3、0.4、0.5 mg/L 的硼标准溶液, 进行 3 水平测定, 每个水平平行测定 3 次, 计算平均回收率, 回收率在 94.6%~101.8%, 结果见表 7。

表 7 方法回收率实验

Tab. 7 Recoveries of method

元素	本底值(mg/L)	加标量(mg/L)			平均回收值(mg/L)			平均回收率(%)		
B	0.423	0.3	0.4	0.5	0.711	0.830	0.896	96.0	101.8	94.6

### 3 结语

本文报道了在对 ICP-OES 工作参数进行优化的基础上, 运用标准加入法建立工作曲线, 对海水样品中硼含量进行准确测定的方法。正交实验和方差分析结果显示, 本实验中仪器工作的最优条件为射频功率 1 400 W, 雾化气流量 0.7 L/min, 观测高度 14 mm, 进样泵速 1.5 mL/min。海水样品盐度高, 基体复杂, 采用稀释法和标准加入法可消除海水基体干扰, 减少由样品差异造成的误差, 提高分析方法的准确性。对海水中硼测定标准加入法标准曲线相关系数大于 0.999, 方法检出限为 1.073 μg/L, 相对标准偏差为 0.76%~1.27%, 加标回收率为 94.6%~101.8%, 精密度和方法回收率良好。

本文采用的 ICP-OES 标准加入法测定海水中硼含量的测定方法, 具有前处理操作简单、化学试剂用量少、样品不易被污染、回收率高、精密度好和灵敏度高等特点, 克服了传统方法前处理步骤繁琐、耗时长、样品易被污染的弊端, 为海水样品及其他高盐样品中硼含量的准确测定提供了参考方法。

#### 参考文献:

[1] Bryjak M, Wolska J, Kabay N. Removal of boron from seawater by adsorption-membrane hybrid process: implementation and challenges[J]. *Desalination*, 2008, 223(1-3): 57-62.

[2] Byrne H J, Kester D R. Inorganic speciation of boron in seawater[J]. *Journal of Marine Research*, 1974, 32(2): 119-127.

[3] Liddicoat M, Turner D, Whitfield M. Conservative behavior of boron in the Tamar Estuary[J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 1983, 17(4): 467-472.

[4] 陈国华, 王渊. 海洋中硼的研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 1999, S1: 41-48.  
Chen Guohua, Wang Yuan. Study on boron in the sea[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1999, S1: 41-48.

表 6 硼元素相对标准偏差

Tab. 6 Relative standard deviations of the method

RSD (%)					
0.99	0.76	0.81	1.27	0.89	1.06

[5] 陈国华, 王渊, 张爱滨, 等. 珠江口海水中的硼和锶的行为研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 1999, S1: 17-24.  
Chen Guohua, Wang Yuan, Zhang Aibin, et al. Study on the behavior of boron and strontium in Zhujiang Estuary[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1999, S1: 17-24.

[6] 孙秉一, 王永辰, 林光岩. 黄河口及邻近海域水体中总碱度的研究[J]. *海洋学报*, 1988, 10(3): 294-301.  
Sun Bingyi, Wang Yongchen, Lin Guangyan. Study on total alkalinity in water body of Yellow River Estuary and adjacent sea area[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1988, 10(3): 294-301.

[7] 韩庆平, 吴玲, 奚建风, 等. 长江河口硼的测定及分布规律研究[J]. *海洋科学*, 1997, 2: 35-38.  
Han Qingping, Wu Ling, Xi Jianfeng, et al. Analysis of boron and its distribution rule in the Chang Jiang Estuary[J]. *Marine Sciences*, 1997, 2: 35-38.

[8] 陈国华, 王渊, 金建成, 等. 杭州湾海水中的硼和锶的研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 1999, 29(105): 25-35.  
Chen Guohua, Wang Yuan, Jin Jiancheng, et al. Boron and strontium in seawater of Hangzhou Bay[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1999, 29(105): 25-35.

[9] 王渊, 陈国华. 海水中硼的测定方法[J]. *青岛海洋大学学报*, 1999, S1: 36-40.  
Wang Yuan, Chen Guohua. A method for the determination of boron in seawater[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1999, S1: 36-40.

[10] Sah R N, Brown P H. Boron determination-a review of analytical methods[J]. *Microchemical Journal*, 1997, 56(3): 285-304.

[11] Jounal A, Jose M. Spectrophotometric determination of boron[J]. *The Analyst*, 1985, 110(1): 61-64.

[12] Burcu S D, Osman S. Determination of boron in grape (*Vitis vinifera*) by azomethine-H spectrophotometric[J]. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 2006, 1(1): 11-18.

[13] 美国公共卫生协会、美国自来水协会、水污染控制联合会编著. 水和废水标准检验法[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1978, 43-49.  
American Public Health Association, American Water

- Works Association, Water Pollution Control Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1978, 43-49.
- [14] 胡志洁. SPSS 11.5 软件在正交试验设计中的应用[J]. 医学信息, 2007, 20(5): 737-740.  
Hu Zhijie. Application of SPSS 11.5 software in orthogonal experimental design[J]. Medical Information, 2007, 20(5): 737-740.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版增补版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.  
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Water and exhausted water monitoring analysis method[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [16] 冯秀文, 高俊琴. 用回收率检验分析方法的准确度[J]. 光谱学与光谱分析, 1995, 15(3): 87-90.  
Feng Xiuwen, Gao Junqin. Examination of analytical accuracy using recovery[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 1995, 15(3): 87-90.

## Accurate determination of boron in seawater by ICP-OES standard addition method

SUN Ling-ling, SONG Jin-ming, YU Ying, SUN Xuan, WEN Ting-yu

(Analytical Center of Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

**Received:** Sept. 22, 2016

**Key words:** Boron; Standard addition method; Seawater; ICP-OES

**Abstract:** As an important component of seawater, the accurate determination of boron has important significance in the study of marine environmental biogeochemistry. The traditional method for detecting boron in seawater has many disadvantages, including the need for tedious pretreatment, being time consuming and easily polluted, and having low sensitivity, making it unsuitable for analyzing numerous seawater samples. In this paper, we accurately determine the boron content in seawater by applying inductively coupled plasma–optical emission spectroscopy (ICP-OES), coupled with the dilution and standard addition methods, to solve the high salt matrix effect and interference problem. The optimum operating parameters of ICP-OES, which we determined using an orthogonal array design, are an RF power of 1400 W, a nebulizer gas flow of 0.7 L/min, a viewing height of 14 mm, and a sample introduction rate of 1.5 mL/min. The correlation coefficient of the linear regression equation was above 0.999. We achieved recovery rates for this method of 94.6%–101.8% and relative standard deviations of 0.76%–1.27%. The detection limit of this method was 1.073  $\mu\text{g/L}$ . Our analysis of actual seawater samples demonstrated this method to be simple, rapid, sensitive, and precise, and able to effectively correct the matrix interference as well as reduce the measurement error. This method could be used to accurately determine boron in seawater and other samples with high salt contents.

(本文编辑: 康亦兼)